

ULTRASONIC FLAW DETECTOR

Patent Number: JP10311822
Publication date: 1998-11-24
Inventor(s): NAGAI SATOSHI
Applicant(s): TOSHIBA CORP
Requested Patent: ☐ JP10311822
Application Number: JP19970120970 19970512
Priority Number(s):
IPC Classification: G01N29/24; G01N29/22
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To scan a plurality of ultrasonic beams at high speed even by phased array method by receiving an electric signal to a reflected ultrasonic signal from a specimen every oscillator.

SOLUTION: A random signal waveform $X(t)$ adapted from the generated electric signal of a transmitted waveform generating circuit 10 is supplied to oscillators $a1$ - a_n as transmitted signal waveforms $X1(t)$ - $Xn(t)$ through each transmission delay circuit 12 and each transmitter 12. Each oscillator excites the ultrasonic signal of random burst waveform and propagates a composed wave front based on phased array method to a specimen. Each oscillator then receives the received signal waveforms $Y1(t)$ - $Yn(t)$ corresponding to the reflected ultrasonic signals from the specimen in different times, and each receiving delay circuit 21 delays them by the same phase delay quantity as in transmission. A phase adding circuit 22 adds them so as to arrange the receiving times reversely to those in transmission, and an arithmetic processor 24 determines an arithmetic signal waveform $RXY(t)$ from the added signal waveform $Y(t)$. This operation is repeated while successively switching each oscillator by a switching circuit 2, whereby ultrasonic beams can be scanned at high speed.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-311822

(43) 公開日 平成10年(1998)11月24日

(51) Int. Cl.⁶G 0 1 N 29/24
29/22

識別記号

5 0 2
5 0 1

F I

G 0 1 N 29/24
29/225 0 2
5 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平9-120970

(22) 出願日 平成9年(1997)5月12日

(71) 出願人 000003078

株式会社京芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 長井 敏

神奈川県横浜市鶴見区末広町二丁目4番地

株式会社京芝京浜事業所内

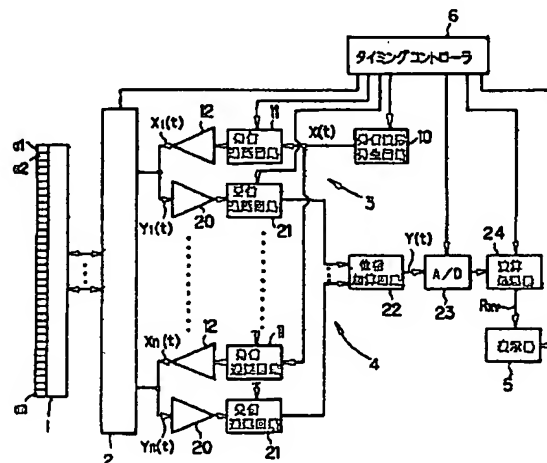
(74) 代理人 弁理士 波多野 久 (外1名)

(54) 【発明の名称】 超音波探傷装置

(57) 【要約】

【課題】フェーズドアレイ法を用いた場合でも複数の超音波ビームを高速に走査でき、開口合成法に基づく画像化を行っても雑音を軽減して分解能を高める。

【解決手段】超音波探傷装置は、電気信号と超音波信号とを相互に変換可能な複数の振動子 $a_1 \dots a_n$ を有し且つその各振動子 $a_1 \dots a_n$ をアレイ状に配置した探触子1と、この探触子1から被検査体に向けてランダムパースト波の電気信号に対応する超音波信号を各振動子 $a_1 \dots a_n$ 毎に発信させる超音波発信手段（発信波形発生回路10、発信遅延回路11…11、発信器12…12）と、この超音波信号の内の被検査体から探触子1に反射してくる反射超音波信号に対応する電気信号を各振動子 $a_1 \dots a_n$ 毎に受信する超音波受信手段（受信器12…12、受信遅延回路21…21、位相加算回路22、A/D変換器23、演算処理器24）とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 電気信号と超音波信号とを相互に変換可能な複数の振動子を有し且つその各振動子をアレイ状に配置した探触子と、この探触子から被検査体に向けてランダムバースト波の電気信号に対応する超音波信号を上記複数の振動子毎に発信させる超音波発信手段と、この超音波発信手段により発信される上記超音波信号の内の上記被検査体から上記探触子に反射してくる反射超音波信号に対応する電気信号を上記複数の振動子毎に受信する超音波受信手段とを備えたことを特徴とする超音波探傷装置。

【請求項2】 前記超音波発信手段は、前記探触子から被検査体に向けて複数の互いに非相関のランダムバースト波の電気信号に対応する複数の超音波信号を前記複数の振動子毎に同時に発信させる手段であり、前記超音波受信手段は、上記超音波発信手段により発信される上記複数の超音波信号の内の上記被検査体から上記探触子に反射してくる複数の反射超音波信号に対応する電気信号を上記複数の振動子毎に受信する手段である請求項1記載の超音波探傷装置。

【請求項3】 前記超音波発信手段は、前記ランダムバースト波の電気信号として、バースト波形信号をランダム波形信号で変調させた電気信号を前記複数の振動子毎に予め設定された位相遅延条件に基づくタイミングで当該複数の振動子に供給する信号供給手段を備え、前記超音波受信手段は、上記複数の振動子からの前記反射超音波信号に対応する電気信号をその位相を上記位相遅延条件に基づいて互いに揃えて加算し、その加算信号を上記ランダム波形信号で復調させる信号復調手段を備えた請求項1又は2記載の超音波探傷装置。

【請求項4】 前記信号供給手段は、前記バースト波形信号として前記振動子の中心周波数と同一の周波数成分を有する正弦波信号を生成する信号生成部と、この信号生成部が生成した正弦波信号を前記ランダム波形信号で変調させる信号変調部と、この信号変調部による変調信号に対して上記複数の振動子毎に予め設定された発信位相遅延条件で遅延を掛ける信号遅延部と、この信号遅延部による遅延信号を用いて当該複数の振動子を励振させる発信器とを備えた請求項3記載の超音波探傷装置。

【請求項5】 前記信号供給手段は、前記位相遅延条件に基づいて予めパターン化されたランダムバースト波に関するデータを記憶するメモリと、このメモリのデータを用いて前記複数の振動子を励振させる発信器とを備えた請求項3記載の超音波探傷装置。

【請求項6】 前記位相遅延条件は、前記複数の超音波信号を互いに異なる深さ位置で集束させるための条件である請求項2記載の超音波探傷装置。

【請求項7】 前記位相遅延条件は、前記複数の超音波信号を互いに異なるビーム方向に沿ってオーバーラップさせながら発信させるための条件である請求項2記載の超

音波探傷装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、超音波信号を用いて材料内部の欠陥等の空洞や異物質等を検査する超音波探傷装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、構造部材中の欠陥等の検査法としては、単一の超音波振動子を機械的に走査しながら超音波信号の送受信を行い、材料内部の欠陥等から反射してくる超音波信号を検出し、その伝播時間と振動子の位置に基づいて欠陥の位置や大きさを判定する、いわゆるパルスエコー法が知られている。

【0003】この方法は、比較的単純な原理で装置自体も比較的簡便であるために構造部材の検査に多用されているが、超音波反射波形を直接観測してその波形変化から欠陥の評価を行うため、高精度な検査を行うためには高度に熟練した検査員が必要であった。そこで、材料内部を高精度に画像化して検査する探傷方法として、最近では、フェーズドアレイ法や開口合成法等が脚光を浴びている。

【0004】フェーズドアレイ法は、振動子を多数配列した探触子を使用し、各振動子から個別に発信される超音波信号の波面が互いに干渉して新たな合成波面として伝播していく原理に基づいて各振動子の発信タイミングを僅かずつずらすように超音波送信を制御することにより、超音波信号の合成波面を偏向させたり集束させたりするものである。また超音波受信の際には、各振動子で個別に受信された反射超音波信号に対応する電気信号を振動子毎に僅かずつずらすように位相加算することで発信時と同様の超音波偏向と集束の効果を得る。

【0005】この方法によれば、探触子を移動することなく超音波ビームを高速に走査させたり、探触子交換することなく超音波ビームの偏向角度や集束深さ位置を任意に変更できるため、リアルタイムに被検査体の断面を画像化して高速かつ高精度な検査を実現できる。

【0006】開口合成法は、被検査体内部に積極的に広げた超音波ビームを発受信して反射超音波信号を測定するが、このときの反射源の位置は振動子位置を中心として反射超音波の伝播距離を半径とした円弧上に存在することから、振動子位置を順次変えて反射超音波信号の測定を行うことで特定の位置に前述の円弧の交点が集まり、反射源の位置を特定するもので、実際には超音波振動子位置情報とその位置の超音波波形信号を用い、電子計算機上で演算処理して高分解能な画像化を行うものである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の従来例のフェーズドアレイ法では、超音波ビームの偏向角度や集束深さ位置を変えた複数の超音波ビームを切り

替えて探傷する場合、1度に発信可能な超音波ビームは1つであるため、その超音波の繰り返し発信が可能な周期の制約から超音波ビームの高速走査に限界があった。

【0008】開口合成法では、高分解能な画像が得られる反面、あえて広げた超音波ビームを発信させるために超音波エネルギーの減衰が大きく、非常に弱い超音波反射信号を検出しなければならず、雑音の影響を受けやすいという問題があった。

【0009】この発明は、フェーズドアレイ法を用いた場合でも複数の超音波ビームを高速に走査できると共に、開口合成法に基づく画像化を行っても雑音を軽減して分解能を高めることを、目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明に係る超音波探傷装置は、電気信号と超音波信号とを相互に変換可能な複数の振動子を有し且つその各振動子をアレイ状に配置した探触子と、この探触子から被検査体に向けてランダムバースト波の電気信号に対応する超音波信号を上記複数の振動子毎に発信させる超音波発信手段と、この超音波発信手段により発信される上記超音波信号の内の上記被検査体から上記探触子に反射してくる反射超音波信号に対応する電気信号を上記複数の振動子毎に受信する超音波受信手段とを備えている。

【0011】好ましい超音波探傷装置として、振動子を多数並設したアレイ型探触子を用いるフェーズドアレイ方式の構成とし、超音波発信手段により、好ましくは波形信号発生器が発生するランダム信号で変調させたバースト波形信号を用いて複数の振動子毎に所定時間遅延させて励振させることにより、バースト波の超音波信号を発信する。

【0012】また受信の際には、超音波受信手段により、好ましくは各振動子毎に超音波反射信号を受信して得られたバースト波形信号を所定時間遅延させて位相加算し、パルス信号復調器に入力し、ここで超音波発信用のランダム波形信号と相似な信号が入力されたときに信号を出力させる。従って、S/N比の良好な超音波伝播経路に応じたパルス波形信号を得ることができる。

【0013】この発明で好ましい態様として、前記超音波発信手段は、前記探触子から被検査体に向けて複数の互いに非相関のランダムバースト波の電気信号に対応する複数の超音波信号を前記複数の振動子毎に同時に発信させる手段であり、前記超音波受信手段は、上記超音波発信手段により発信される上記複数の超音波信号の内の上記被検査体から上記探触子に反射してくる複数の反射超音波信号に対応する電気信号を上記複数の振動子毎に受信する手段である。

【0014】例えば、超音波発信手段は、M個の互いに非相関のランダム信号で変調されたバースト波形を発生させる手段と、この各バースト波形毎に位相遅延を掛け

る発信位相遅延手段と、位相遅延されたランダムバースト波形信号を振動子駆動用の波形信号として合成する混合回路等の手段とをN個の振動子毎に備え、M個のランダムバースト波形信号毎に異なる発信位相遅延制御を行うことにより同時に複数の超音波ビームを発生させるものとする。

【0015】また超音波受信手段は、N個の振動子毎にM個の受信位相遅延手段、その出力波形を位相加算する手段、及びその出力波形をランダム信号で復調する手段を備え、同時に発信した複数の超音波ビーム毎の伝播経路に対応したM個のパルス波形を分離して検出するものとする。

【0016】この発明でより好ましい態様として、前記超音波発信手段は、前記ランダムバースト波の電気信号として、バースト波形信号をランダム波形信号で変調させた電気信号を前記複数の振動子毎に予め設定された位相遅延条件に基づくタイミングで当該複数の振動子に供給する信号供給手段を備え、前記超音波受信手段は、上記複数の振動子からの前記反射超音波信号に対応する電気信号をその位相を上記位相遅延条件に基づいて互いに揃えて加算し、その加算信号を上記ランダム波形信号で復調させる信号復調手段を備える。

【0017】信号供給手段として好ましくは、ランダム信号変調手段を備え、例えば正弦波発生回路が発生させた振動子の中心周波数と同一のパルス状正弦波をゲート回路を設けた遅延回路の入力タップに入力し、そのゲート回路をランダム波形のon/off信号に対応させて設定することにより、正弦波をランダム信号でon/off変調させたバースト波形を遅延回路から出力させる。

【0018】信号復調手段として好ましくは、パルス信号復調手段を備え、例えば受信された信号を遅延回路に入力し、その遅延回路の出力タップに設けたゲートをランダム波形のon/off信号に対応させて設定し、そのゲート出力を加算回路に入力することにより、ランダム信号と相似な波形が入力されたときにのみ当該信号を加算回路から出力させる。

【0019】ランダム信号変調手段の別の態様として、正弦波発生回路が発生させた振動子の中心周波数のパルス状正弦波を極性切替回路を設けた遅延回路の入力タップに入力し、極性切替回路をランダム波形の符号に対応させて設定することにより、正弦波をランダム信号の符号で変調されたバースト波形を遅延回路から出力させる。

【0020】パルス信号復調手段の別の態様として、超音波受信信号を遅延回路に入力し、その遅延回路の出力タップに設けた極性切替回路をランダム波形の符号に対応させて設定し、その各極性切替回路の出力を加算回路に入力することにより、ランダム波形信号と相似な波形が入力されたときにのみ当該信号を出力させる。

【0021】前記信号供給手段として好ましくは、前記バースト波形信号として前記振動子の中心周波数と同一の周波数成分を有する正弦波信号を生成する信号生成部と、この信号生成部が生成した正弦波信号を前記ランダム波形信号で変調させる信号変調部と、この信号変調部による変調信号に対して上記複数の振動子毎に予め設定された発信位相遅延条件で遅延を掛ける信号遅延部と、この信号遅延部による遅延信号を用いて当該複数の振動子を励振させる発信器とを備える。

【0022】前記信号供給手段として好ましくは、前記位相遅延条件に基づいて予めパターン化されたランダムバースト波に関するデータを記憶するメモリと、このメモリのデータを用いて前記複数の振動子を励振させる発信器とを備える。

【0023】この場合に好ましい態様としては、N個の振動子毎に所定の位相遅延させた複数のランダムバースト波形信号を加算合成した振動子駆動波形に関するデータを記憶する送信波形用の高速メモリと、D/A変換器と、超音波発信の際にメモリのデータを読み出し、D/A変換器により振動子駆動波形を出力させる手段とを備える。この場合には、超音波発信用の位相遅延回路およびランダムバースト変調回路を不要にし、かつ複数の超音波ビームを同時に発信できる。

【0024】また信号復調手段として好ましくは、N個の振動子に1対1で対応させた高速A/D変換器と、受信波形用メモリと、振動子で受信された複数の超音波ビームによる受信波形を高速にA/D変換されメモリに記憶し、その後、複数のランダムバースト波形毎に所定の位相遅延量に基づいてメモリの読み出し開始位置を設定し、N個の受信波形の記憶長さ分を順次読み出しつつ加算を行い、ランダムバースト波形信号とて相互相関演算処理を行う手段とを備える。この場合には、受信位相遅延回路およびパルス信号復調回路を不要にし、かつ複数の超音波ビーム発信に基づく伝播経路に対応したM個のパルス波形信号を取得できる。

【0025】この発明で好ましくは、前記位相遅延条件は、前記複数の超音波信号を互いに異なる深さ位置で集束させるための条件とする。

【0026】この場合に好ましい側面として、超音波発信手段により、複数のランダムバースト波形信号毎に集束深さ位置を変えた発信位相遅延量を設定して合成させた波形信号を用いて各振動子を励振し、複数の集束超音波ビームを同時に発信させる。

【0027】また反射超音波信号の受信の際には、超音波受信手段により、ランダムバースト波形信号毎に集束深さ位置を変えた受信位相遅延量を設定し、各振動子からの信号波形を位相加算し、ランダム波形信号に基づいて復調して複数の集束超音波ビームによるパルス波形を得る。このパルス波形を各集束深さ領域で選択して合成した波形信号を用いて画像化するため、超音波集束深さ位置の

設定を切り替えて探傷する必要がなく、操作性が大幅に向上するようになる。

【0028】この発明で好ましくは、前記位相遅延条件は、前記複数の超音波信号を互いに異なるビーム方向に沿ってオーバーラップさせながら発信させるための条件とする。

【0029】この場合に好ましい側面として、超音波発信手段により、複数のランダムバースト波形信号毎にビーム方向を変えた発信位相遅延量を設定して互いに合成させた波形信号を用いて各振動子を励振し、複数の方向の超音波ビームを互いにオーバーラップするように同時に発信させる。

【0030】また反射超音波信号の受信の際には、超音波受信手段により、ランダムバースト波形信号毎に位相遅延量を設定せずに、各振動子からの信号波形をランダム波形信号に基づいて復調することにより、複数の方向の超音波伝播経路に対応するパルス波形の全てをメモリに格納する。この一連の動作を振動子位置を順次切り替えながら実行し、受信パルス波形に対応する振動子位置、発信超音波ビーム位置、得られた受信パルス波形の伝播時間を用いた開口合成信号処理法に基づく画像処理（演算処理および画像表示）を行う。その結果、発信超音波エネルギーの減衰を軽減しかつ高分解能な画像を取得できる。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、この発明に係る超音波探傷装置の具体的な実施形態を図面を参照して説明する。

【0032】（第1実施形態）図1に示す超音波探傷装置はフェーズドアレイ法を適用したもので、電気信号と超音波信号とを相互に変換可能な複数の（n個）の超音波振動子 $a_1 \dots a_n$ をアレイ状に並設したアレイ探触子1と、この探触子1に接続される振動子選択用の切替回路2と、この切替回路2を介して探触子1をその振動子 $a_1 \dots a_n$ 毎に選択可能に駆動させる、この発明の超音波発信手段を成す送信部3と、各振動子 $a_1 \dots a_n$ の反射超音波信号を切替回路2を介して選択可能に入力する、この発明の超音波受信手段を成す受信部4と、この受信部4の出力側に設けた表示器5と、このような切替回路2、送信部3、受信部4、および表示器5に対する各種の設定や動作等のタイミングを制御する電子計算機等のタイミングコントローラ6とを備えている。

【0033】この内、送信部3は、超音波発信波形を生成する信号発生器10を備え、この発生器10の出力側に複数個（振動子数に対応した個数（n個））の発信遅延用の発信遅延回路 $11 \dots 11$ 、および振動子励振用のパルス信号を生成する複数個の発信器（例えば電力増幅器） $12 \dots 12$ を順次接続させた構成となっている。

【0034】信号発生器10は、例えば発信波形の周波数、振幅、および持続時間などを任意に設定可能な任意信号発生器で構成され、ランダムバースト波形信号を生

成し、これを複数の発信遅延回路11…11に個別に出力する。

【0035】発信遅延回路11…11の各々は、各振動子a1…an毎に予め設定された位相遅延量に応じて信号発生器10からの波形信号に遅延を掛け、これを対応する発信器12に供給する。

【0036】発信器12…12の各々は、例えば電力増幅器で構成され、発生器からの波形信号に応じた励振用の駆動信号を生成し、これを切替回路2を介して対応する振動子a1…anに供給することにより、各振動子a1…anを僅かづつ異なるタイミングで励振させ、そこからフェーズドアレイ法に基づく超音波ビームを合成、発信させる。

【0037】受信部4は、各振動子a1…anの出力側に切替回路2を介して複数個の受信器20…20、受信遅延用の受信遅延回路21…21、その出力信号中の同相の信号を強調する位相加算回路22、高速A/D変換器23、および演算処理器24を順次接続させた構成となっている。

【0038】この内、受信器20…20の各々は、例えば信号増幅器で構成され、各振動子a1…anから切替回路2を介して受信された微小な反射超音波信号に対応する電気信号を予め設定された信号レベルとなる状態に増幅し、この増幅信号を各受信遅延回路21…21に供給する。この各遅延回路21…21からの遅延信号は位相加算回路22で位相加算され、それがA/D変換器23を介してデジタル信号として演算処理器24に供給される。

【0039】演算処理器24は、例えばデジタル演算プロセッサ(DSP)等で構成され、A/D変換器23からのデジタル信号波形と超音波発信波形との間で相互相関関数を求める演算処理(後述)を行い、その相関出力波形に基づいて超音波の伝播時間とその強度を求める。そこで、この演算値に基づく画像が表示器5の画面上に表示され、被検査体の探傷試験に供せられる。

【0040】次に、この実施形態の動作を図2に基づいて説明する。

【0041】まず、超音波探傷装置の起動に際し、タイミングコントローラ6の制御の下で信号発生器10にてランダムバースト波形となる状態の電気信号が生成される。この信号波形として、図2に示すように擬似ランダム波形であるM系列信号波形M(t)で超音波振動子の中心周波数と同一周波数の単一の正弦波信号を変調させたランダム信号波形X(t)を採用する。この理由は、ホワイトノイズ等の平坦な周波数スペクトル特性をもつ最適な波形を使用するよりも波形制御の容易性の観点重視したためである。

【0042】このようなランダム信号波形X(t)は、各発信遅延回路11…11および発信器12…12を介して図2に示すように発信信号波形X1(t)、X2

(t)、…、Xn(t)として、予め設定された発信タイミングで各振動子a1…anに供給される。そこで、各振動子a1…anでランダムバースト波形の超音波信号が励振され、その波面が同心円状に広がりながら互いに干渉して合成されたフェーズドアレイ法に基づく波面として被検査体に伝播していく。

【0043】次いで、超音波受信の際には、例えば図2に示すように各振動子a1…anにてランダムバースト波形の反射超音波信号に対応する受信信号波形Y1

(t)、Y2(t)、…、Yn(t)が互いに異なる時刻で受信される。この各受信波形は、切替回路2を介して各受信遅延回路21…21にて送信時と同じ位相遅延量で遅延を掛けられ、これらが位相加算回路22にて発信時とは逆に受信時刻を揃えるように加算され、同位相の信号成分のみを強調させた加算信号波形Y(t)としてA/D変換器23にてデジタル波形信号に変換される。

【0044】この加算信号波形Y(t)は、上述の発信信号波形X1(t)…Xn(t)が反射源に応じて多数重畳した情報を含む波形であるため、演算処理器24にて発信信号波形X1(t)…Xn(t)との間の相互相関関数、即ち

【数1】

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n X(t) \cdot Y(t+\tau)$$

【0045】の演算式に基づく相関出力のパルス信号(演算信号)波形Rxy(τ)を求めることにより、超音波の伝播距離及びその強度に関する情報が得られる。

【0046】このような一連の動作を切替回路2にて各振動子a1…anを順次切り替えながら繰り返すことにより、超音波ビームがその発信/受信位置を変えながら高速に走査される。その結果、上述の如く得られたパルス波形Rxy(τ)に基づいて超音波画像が構築され、表示器5の画面上に表示される。

【0047】従って、この実施形態によれば、ランダムバースト波形を用いてフェーズドアレイ方式の超音波信号を送受信させる構成としたため、超音波信号に電気的な雑音が重畳するような環境下でも、発信波形であるランダム波形は自己の波形のみに相関性が強く、即ち雑音信号との間の相関性が弱いものであるため、受信される反射超音波信号が微弱であってもS/N比(signal-to-noise ratio)の高いパルス信号波形を取得でき、画像精度を大幅に高めることができる。

【0048】また、超音波発信波形はその超音波エネルギーが時間軸上に分散しているバースト波であるため、従来のインパルス方式に比べて超音波振動子の駆動電圧を低くし、超音波発信器を低電圧化できる利点もある。

【0049】また、発信/受信の各遅延回路に設定する位相遅延量を適宜に制御すれば、超音波ビームをその偏

向角度を繰り返し変更しながら送受信させて画像化することも可能である。

【0050】なお、応用例として、この実施形態に係る超音波探傷装置を複数台用意し、これらと電子計算機との間を通信回線を介して接続し、超音波探傷装置のそれぞれの信号発生器で設定すべきランダム波形信号として互いに非相関の独立した波形信号を用いる複合システムであってもよい。この場合には、複数の超音波探傷装置を同時に並列運転させても互いに干渉せずにより広範囲の検査領域を高速に探傷できるといった利点もある。

【0051】(第2実施形態) 図3に示す超音波探傷装置は、上記構成の内の送信部および受信部を一部変更し、複数のランダムバースト波形の超音波信号を同時にスキャンさせるものである。その他は上記構成と実質的に同様である。

【0052】送信部3aは、互いに非相関で自己の波形のみに相関性が強い独立したm種類(mは2以上)のランダムバースト波形を個別に発生するm個の信号発生器(任意波形発生器)10_{a1}…10_{am}、その出力側にm個の発信遅延回路11_{a1}…11_{am}、及びその各出力を1つに合成して発信器12に送る加算回路等の波形合成器13を備えている。

【0053】受信部4aは、n個の受信器20…20の各出力側のそれぞれにm個の受信遅延回路21_{a1}…21_{am}を備え、その各出力をm種類のバースト波形毎に個別に加算するm個の位相加算器22_{a1}…22_{am}、A/D変換器23_{a1}…23_{an}、および演算処理器24_{a1}…24_{an}を順次接続させた構成となっている。

【0054】ここで、この実施形態の動作を図4に基づいて説明する。

【0055】まず、超音波探傷装置の起動に際し、図4に示すように各信号発生器10_{a1}…10_{am}にて互いに非相関の独立したm種類のM系列信号Mm1(t)…Mmm(t)で単一正弦波を変調させたm種類のランダム波形信号Xm1(t)、Xm2(t)、…、Xmm(t)が個別に生成される。

【0056】この各波形信号Xm1(t)…Xmm(t)は、発信器12…12毎に設けたm個の発信遅延回路11_{a1}…11_{am}にて波形毎に予め設定された位相遅延量で遅延が掛けられ、これらの各遅延波形が波形合成器13にて加算合成される。そこで、この合成信号波形X1(t)、X2(t)、…、Xn(t)に基づいて発信器12…12が切替回路2を介して各振動子a1…anを駆動させることにより、m種類のランダムバースト波の超音波信号がフェーズドアレイ法に基づいて同時に発信される。

【0057】次いで、この反射超音波信号は、図4に示すようにm種類のランダム波形信号が互いに重畳した受信信号波形Y1(t)、Y2(t)、…、Yn(t)として各振動子a1…anで互いに異なった時刻に受信さ

れる。この各信号波形Y1(t)…Yn(t)は、切替回路2を介して各受信器20…20毎にm個の受信遅延回路21_{a1}…21_{am}に供給され、ここで予め設定された送信時と同様のm種類の位相遅延量に応じて、即ち発信時とは逆に受信時刻を揃えるように位相が遅延制御され、この位相遅延制御毎に位相加算器22_{a1}…22_{am}に供給される。

【0058】そこで、図4に示すように、位相加算器22_{a1}…22_{am}にて同位相の信号のみが強調された加算信号波形Ym1(t)…Ymm(t)が得られる。この各信号波形Ym1(t)…Ymm(t)は、上述の複数の発信信号波形Xm1(t)…Xmm(t)が反射源に応じて重畳したものであるため、これらを各A/D変換器23_{a1}…23_{an}にてデジタル信号に変換し、メモリに格納した後に演算処理器24_{a1}…24_{an}にて発信信号波形Xm1(t)…Xmm(t)との間の相互相関関数を、【数2】

$$R_{xm1ym1}(\tau) = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n X_{m1}(t) \cdot Y_{m1}(t+\tau)$$

$$\vdots$$

$$R_{xmmymm}(\tau) = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n X_{mm}(t) \cdot Y_{mm}(t+\tau)$$

【0059】の各式に基づいて演算すれば、m種類の超音波ビームの伝播時間とその強度に対応する相関出力波形、即ち受信パルス信号波形R_{x1y2}(τ)…R_{xany2}(τ)のそれぞれを分離して検出することができる。

【0060】このような一連の動作を切替回路2にて各振動子a1…anを順次切り替えながら繰り返すことにより、超音波ビームの発信/受信位置を変えて高速に走査でき、複数の受信パルス波形が同時に得られるため、これらの信号を用いることにより表示器5で高速かつ高精度に画像化できる。

【0061】従って、この実施形態によれば、上記と同様の効果に加え、従来の超音波探傷装置では殆ど不可能とされていた複数の超音波ビームの同時発信/受信が可能になるといった有利な利点がある。

【0062】(第3実施形態) この実施形態は、上記構成の内の送信部および受信部をより具体化させたものである。他の構成要素については上記と同様であるため、その説明を省略する。

【0063】図5に示す送信部3bは、その発信波形発生回路の具体例として、任意波数の正弦波を発信する発信回路14と、その出力を複数のアナログスイッチ15…15を介して受ける中間タップ付きの遅延回路16とを備えた構成で、発信回路14からの正弦波を各アナログスイッチ15…15を介して遅延回路16の遅延時間の異なる各中間タップに分配して入力し、その内の遅延時間の最も短く設定された中間タップから順にその入力

波形信号を出力する。

【0064】ここで、発信回路15の発信時間と遅延回路16の中間タップ間の信号遅延時間とを同一に設定すれば、アナログスイッチ15のオン/オフ状態を反映させた波形信号が得られる。従って、アナログスイッチ15のオン/オフ状態を上記のM系列信号の符号に対応させるように制御すれば、遅延回路16の出力に正弦波をM系列信号の符号で変調したランダム波形信号が得られる。

【0065】図6に示す受信部4bは、上述の位相加算回路、A/D変換器、および演算処理器に代わる構成として、受信信号波形を受ける中間タップ付きの遅延回路25と、その遅延出力を複数のアナログスイッチ26…26を介して受ける加算回路27とを備えている。

【0066】ここで、受信信号波形の先頭部が遅延回路25の遅延時間の最も大きく設定された中間タップの出力に現れる時刻では、その遅延時間よりも短い中間タップからその受信信号波形の先頭部よりも時系列的に後の信号が順番に既に出力済みであるため、加算回路27の出力は受信波形を時間軸上に積分した信号となる。従って、遅延回路25の中間タップに設けたアナログスイッチのオン/オフ状態を上記発信用のM系列信号の符号に対応させるように制御すれば、受信信号波形から超音波ビームの伝搬経路に沿ったパルス波形信号を復調できる。

【0067】従って、この実施形態によれば、ランダム波形信号の変調手段およびパルス波形信号への復調手段をアナログ回路で構成したため、上記効果に加え、超音波のリアルタイム発信が可能となる利点がある。また、パルス波形信号への復調時に微少な信号から大きな信号まで広いダイナミックレンジで処理できるため、デジタル信号処理の場合のオーバーフローやアンダーフロー等の影響を殆ど受けずにより高精度に計測できる利点もある。

【0068】なお、その他として、図7及び図8に示す構成であってもよい。

【0069】図7に示す送信部3cは、その発信波形発生回路として、任意波数の正弦波を発信する発信回路14と、その出力を複数の双極型アナログスイッチ15a…15aを介して受ける中間タップ付きの遅延回路16とを備えている。双極型アナログスイッチ15aの2つの入力端子の一方と発信回路14との間には反転アンプ17が接続され、この反転アンプ17の入力と出力のいずれか一方が双極型アナログスイッチ15aにより切替可能に選択される。

【0070】そこで、発信回路14の発信時間と遅延回路16の中間タップ間の信号遅延時間とを同一に設定し、発信回路14からの波形信号の位相を反転アンプ17および双極型アナログスイッチ15aを用いて180度変えることにより、双極型アナログスイッチ15aの

選択状態を反映させた波形信号が得られる。即ち、双極型アナログスイッチ15aの選択状態を上記M系列信号の符号に対応させるように制御すれば、上記と同様に正弦波信号をM系列信号の符号で変調したランダム波形信号を遅延回路16から出力できる。

【0071】図8に示す受信部4cは、中間タップ付き遅延回路25と、その中間タップから遅延された信号を複数の双極型アナログスイッチ26a…26aを介して受ける2組の第1加算回路28a、28bと、その一方の第1加算回路28aの出力を反転アンプ29を介して受けると共に、他方の第1加算回路28bの出力を受け第2加算回路30とを備えている。

【0072】従って、遅延回路25の中間タップに設けたアナログスイッチ26a…26aの選択状態を上述の発信用M系列信号の符号に対応させるように制御すれば、上記と同様にランダム波形信号をパルス波形信号に復調できる。

【0073】(第4実施形態) 図9に示す超音波探傷装置は、上記装置の内の送信部及び受信部の回路構成の一部をアナログ回路からデジタル回路に変更したものである。その他の構成要素については上記と実質的に同様であるために、その説明を省略する。

【0074】送信部3dは、上記の発信波形回路および発信遅延回路に代えて、予めM系列信号で変調したランダム波形を所望の発信遅延時間分ずらした遅延波形パターンを格納する複数の発信波形メモリ40…40と、その各メモリ40…40のランダム波形を読み出してアナログ信号に変換し、これを各発信器12…12に供給する複数の高速D/A変換器41…41とを備えている。

【0075】各発信波形メモリ40…40内に格納すべきランダム波形パターンは、上記と同様の複数超音波ビームの同時発信を可能とするため、m種類の位相遅延制御条件毎にM系列信号で変調したランダム波形を遅延制御条件毎にずらして合成させたものである。

【0076】受信部4dは、上記の受信遅延回路、位相加算回路、A/D変換器に代えて、各振動子a1…anの受信信号波形を切替回路2および各受信器20…20を介して受ける複数の高速A/D変換器42…42と、そのデジタル信号を受ける複数の受信波形用メモリ43…43と、その出力側に演算処理器24を介して接続される画像メモリ44とを備えている。

【0077】この受信部4dによれば、各受信波形用メモリ43…43からm種類の位相遅延制御条件毎に予め設定された所定の読み込み開始アドレスでn個の波形データを読み出して加算することにより、演算処理器24にて上記と同様の複数の超音波伝搬経路に沿ったパルス信号波形データを演算し、画像メモリ44にて超音波信号の発信/受信位置情報とその各位置での受信パルスの波形データに基づいて表示器5上の画面に表示すべき超音波画像を構築する。

【0078】従って、この実施形態によれば、上記と同様のランダム波形の超音波信号を用いた場合の効果に加え、超音波発信側に複数のランダム波形生成とその発信位相遅延制御とを兼ね備えたデジタル回路構成（高速D/A及びメモリ）を構築したため、発信遅延回路が不要になるとともに発信器と1対1で対応させて備えることができ、超音波発信手段をより簡素化できる利点がある。

【0079】また、複数の受信タイミングが互いに異なるランダム波形の重畳信号に関して、ランダム波形毎の受信位相遅延加算制御とそのパルス信号復調とを兼ね備えて行うデジタル回路構成を超音波受信側に構築したため、受信遅延回路および位相加算回路が不要となって超音波受信手段をより簡素化できる利点もある。

【0080】また、この実施形態によれば、動作振動子に1対1で対応させた発信波形メモリ及び受信波形メモリを備えたため、位相遅延制御毎および振動子毎に重み付けが必要な超音波発信/受信に関する構成をより簡素に構築でき、より高精度な超音波探傷を実施できる利点もある。

【0081】なお、その他として以下の変形/応用例も可能である。

【0082】1)：発信/受信の各波形メモリに格納すべき発信/受信遅延制御用の波形パターンとして、偏向角度が互いに異なる複数の超音波ビーム用の波形パターンを使用すれば、発信遅延制御の切り替えを必要とせず複数の偏向角度をもつ超音波ビームの同時発受信が可能となる。

【0083】2)：発信/受信の各波形メモリに格納すべき発信/受信遅延制御用の波形パターンとして、集束深さ位置が互いに異なる複数の超音波ビーム用の波形パターンを使用すれば、複数の集束深さ位置をもつ超音波ビームの同時発受信が可能となる。この場合には、各集束領域からの受信波形を選択、合成することにより、深さ方向に軸集束させた高精度な超音波ビームと等価な信号を得ることができる。また、集束深さ位置に応じて動作振動子の個数を変えるように発信/受信波形パターンの重み付け状態を制御すれば、画像精度をより一層高めることができる。例えば、集束深さが浅い位置の場合に振動指数を小さくし、集束深さが深い場合に振動指数を多くするように対応振動子毎の発信/受信波形パターンの重み付けを調整すればよい。

【0084】（第5実施形態）図10に示す超音波探傷装置は、上記第4実施形態と同様の装置構成の内の受信部の一部をデジタル回路からアナログ回路に変更したものである。即ち、受信部4eは、各受信器20…20の出力側にm個の受信遅延回路21_{a1}…21_{am}および位相加算回路22_{a1}…22_{am}のほか、m種類のランダム波形毎に位相制御条件が設定されたパルス信号復調回路45_{a1}…45_{am}を備え、同時発信された複数の超音波ビーム

毎の伝播経路に沿ったパルス信号波形を取得する。

【0085】この実施形態によれば、複数のランダム波形生成とその発信位相遅延制御とを同時に兼ね備えたデジタル回路構成（高速D/A変換器及びメモリ）で送信部を構築したため、発信遅延回路を不要にして簡素化できると共に、受信部については複数の超音波信号をアナログ信号のままで位相加算及びパルス復調を行う回路構成としたため、デジタル信号処理の場合と比べてよりリアルタイムに画像化できる利点がある。

【0086】（第6実施形態）図11に示す超音波探傷装置は、上記第4実施形態と同様の装置構成の内の受信部の一部を変更したものである。即ち、受信部4fは、各受信器20…20の出力側にA/D変換器42…42および受信波形メモリ43…43のほか、その出力側に第1演算処理器24a、バッファメモリ46、第2演算処理器47、及び画像メモリ44を備えている。

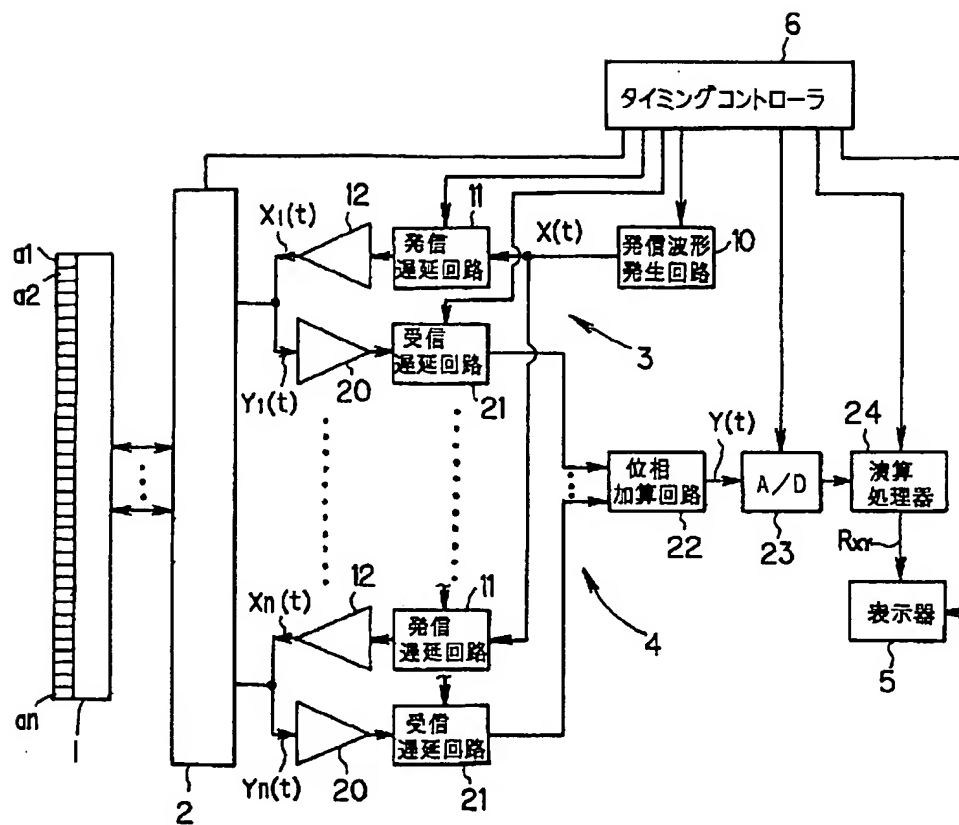
【0087】第1演算処理器24aは、DSP等で構成され、受信波形用メモリからの受信デジタル信号波形と発信に用いた発信波形との間で上記と同様の相互相関演算処理を行い、この演算結果に相当する相関出力波形、即ち超音波伝播時間とその強度を反映したパルス信号波形をバッファメモリ46に転送する。ここで、複数の超音波ビーム同士が若干重なる状態の偏向角度に設定して同時に超音波発受信を行い、得られた複数方向からの信号波形を加算合成してバッファメモリ46に格納させる。

【0088】第2演算処理器47は、DSP等で構成され、バッファメモリ46内に格納されたパルス信号波形のほか、その発信/受信位置や偏向角度等の情報を参照して開口合成法に基づく演算処理を行う。

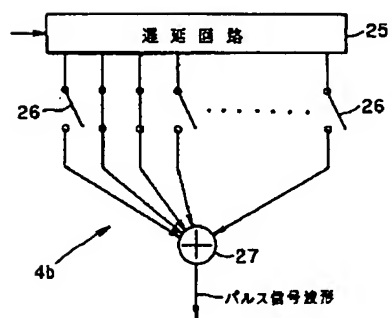
【0089】ここで、パルス信号波形は超音波伝播経路に対応しているため、超音波発信からの遅れ時間を音速で換算して伝播距離とすることができるので、超音波発受信位置を中心として伝播距離を半径とした円弧上にその反射源があるから、超音波発受信位置を変えて得た同様の円弧は前述の円弧と交差するからこの交点を反射源位置とすることができる。そこで、切替回路2により振動子a1…anを順次切り替える上記と同様の一連の動作を実行させれば、多数の超音波発受信位置での受信信号波形全体の振幅情報が得られ、これに基づく超音波反射源を反映した画像を画像メモリ44上で再構成させることができる。

【0090】従って、この実施形態によれば、フェーズドアレイ方式の超音波発受信の位相遅延制御と、複数のランダム波形信号による複数超音波ビームの同時発受信とを同時に実施し、開口合成処理に基づく超音波画像化手段も備えたため、超音波発信時には複数の超音波ビームを若干重なる偏向角度で超音波ビームを同時に発信し、その超音波エネルギー減衰を大幅に軽減して広い角度範囲に超音波信号を照射できるといった利点がある。

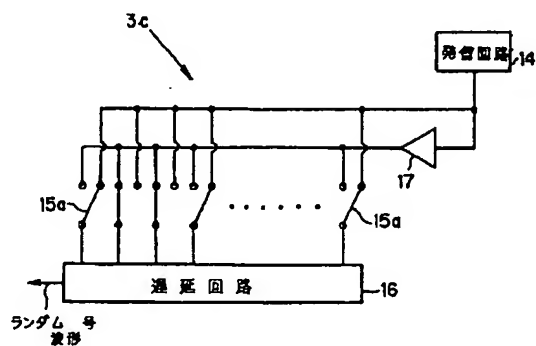
【図1】



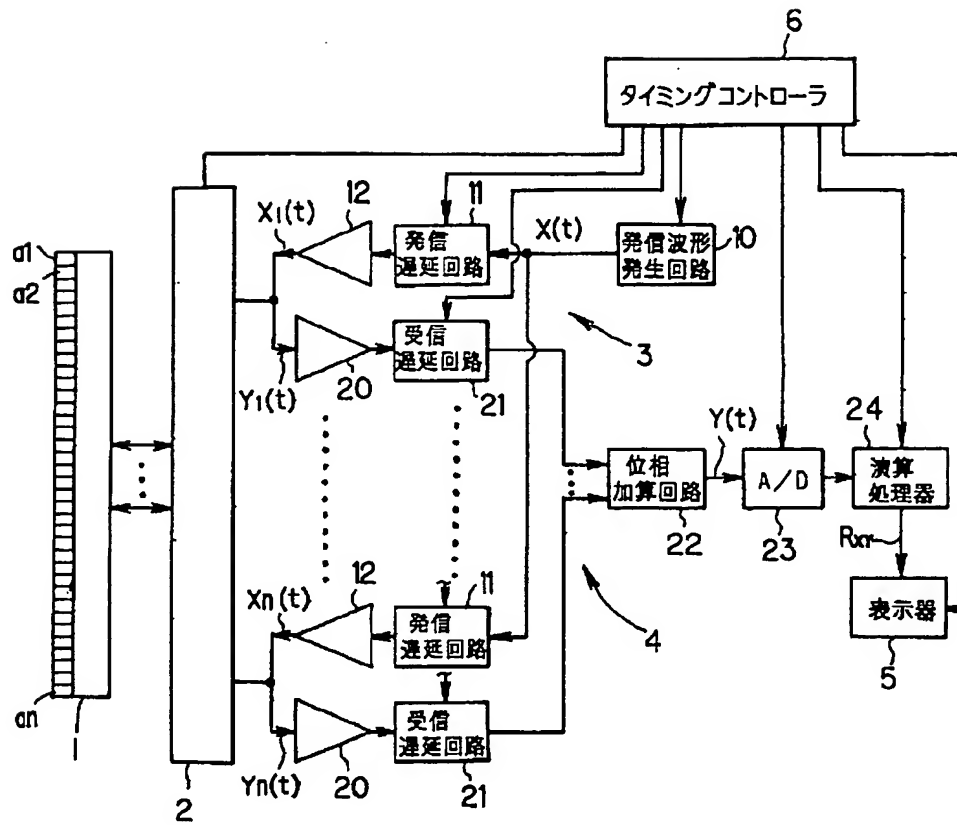
【図6】



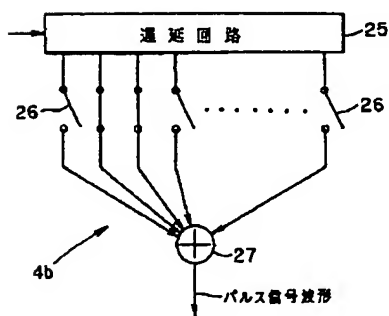
【図7】



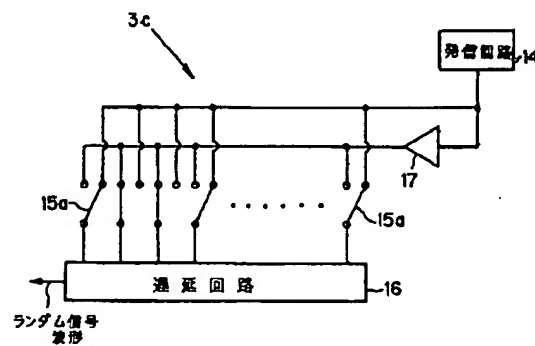
【図1】



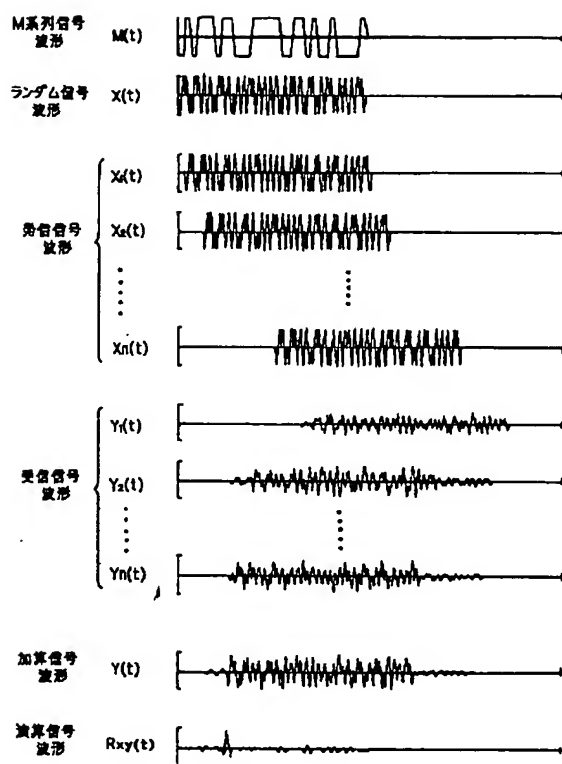
【図6】



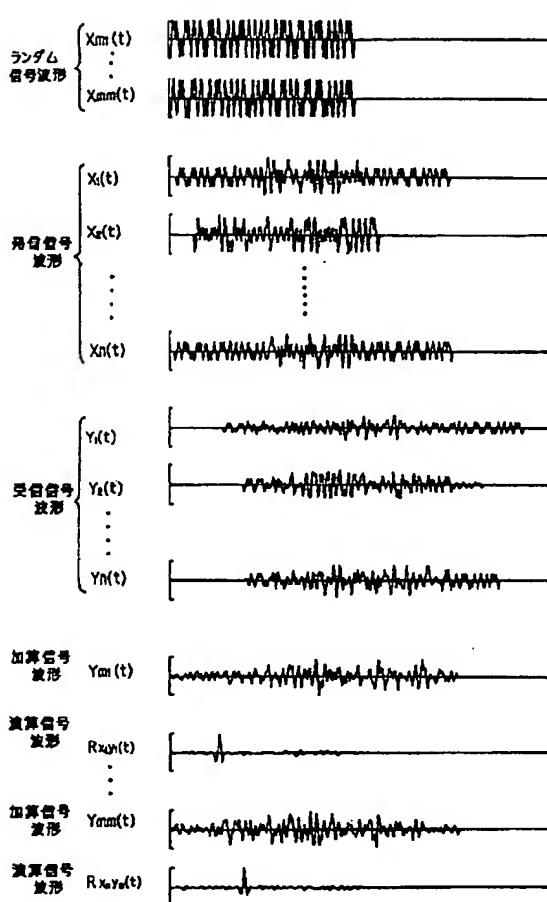
【図7】



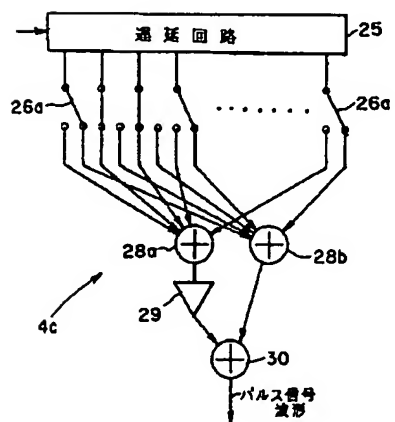
【図2】



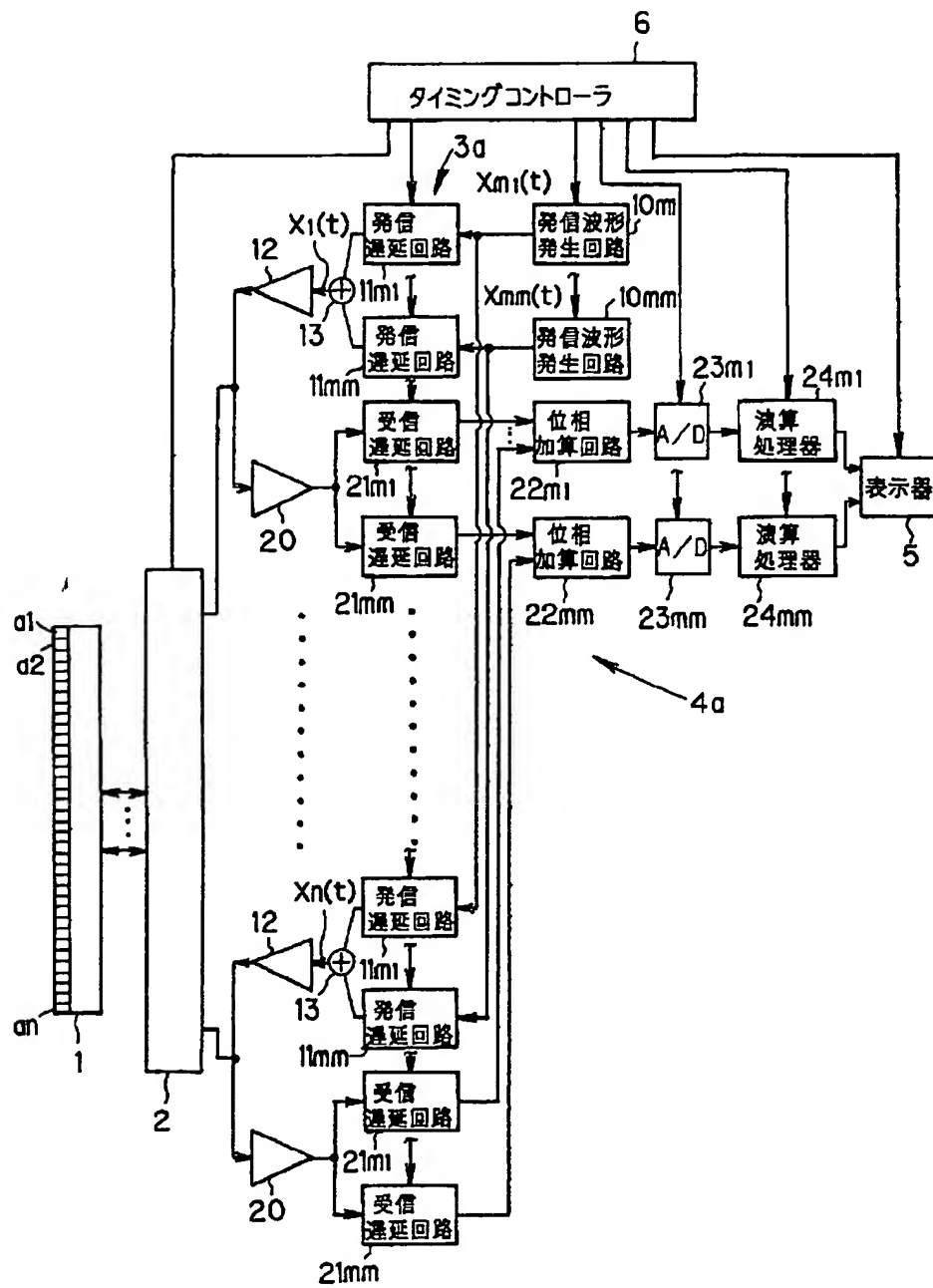
【図4】



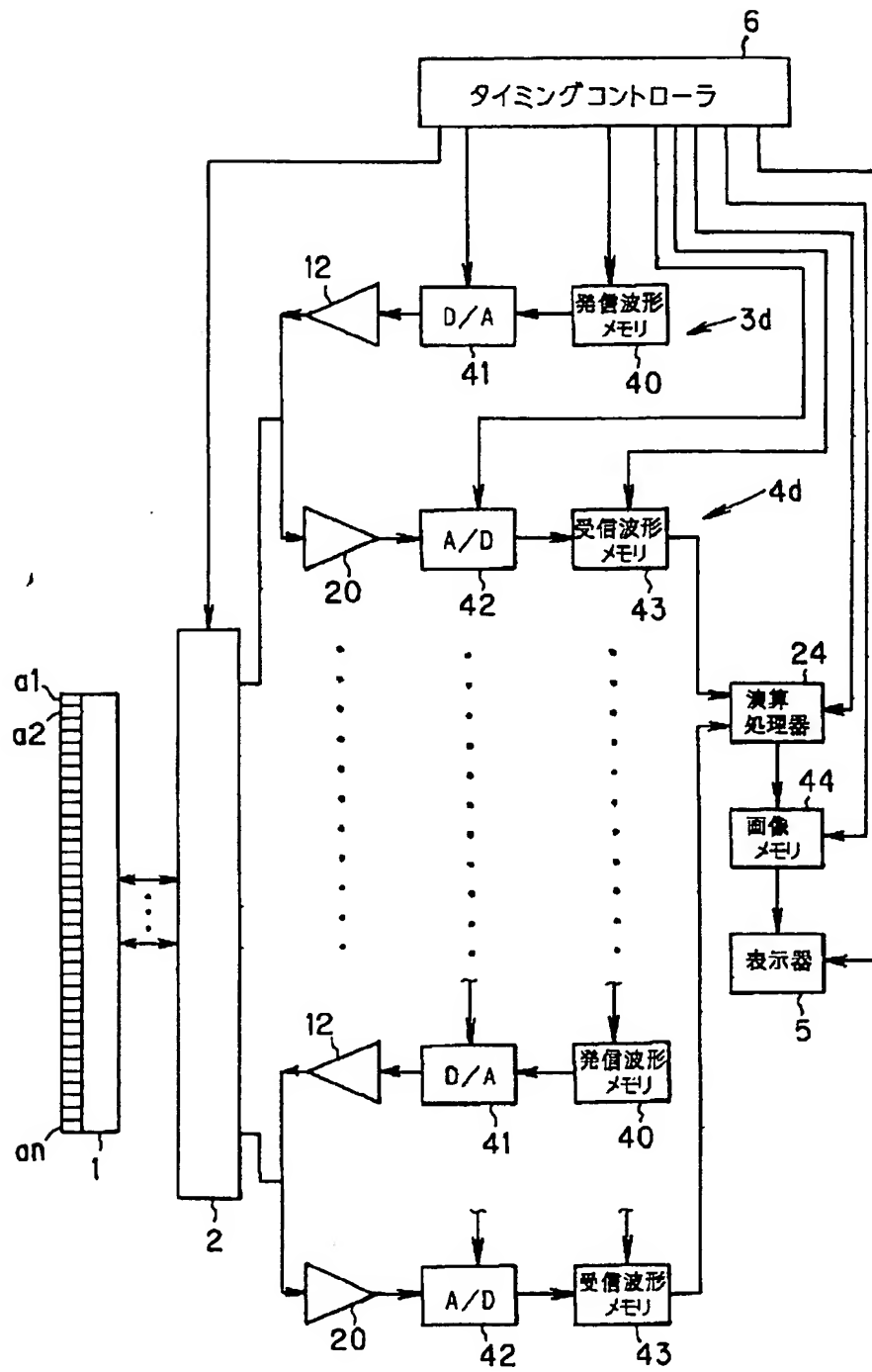
【図8】



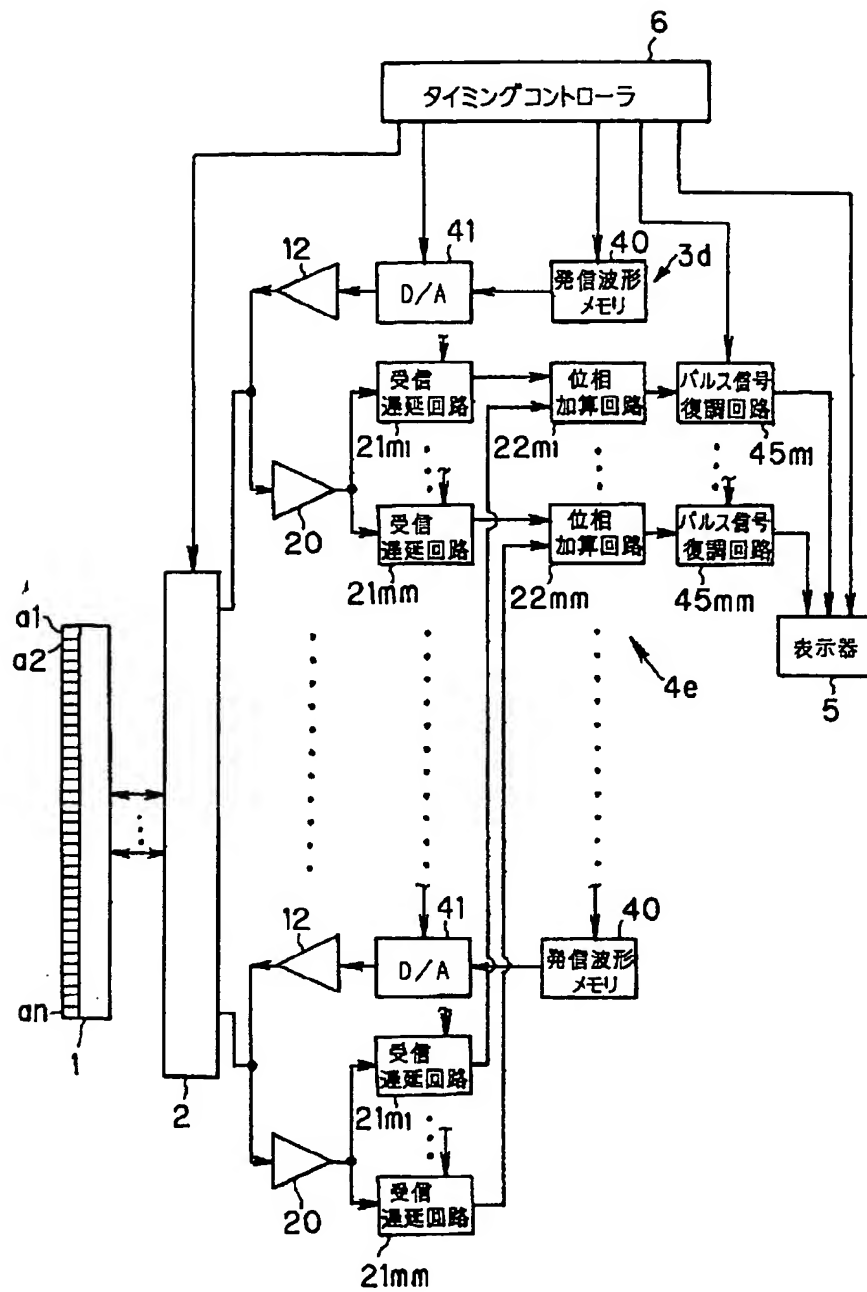
【図3】



【図9】



【図10】



【図11】

